

Ville Kontturi

# Automatisoidun tuotantosolun käyttöönottoprojekti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

25.1.2018

Tekijä Otsikko	Ville Kontturi Automatisoidun tuotantosolun käyttöönottoprojekti
Sivumäärä Aika	28 25.1.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja	Tuotekehityspäällikkö Tomas Finell Lehtori Pekka Salonen
<p>Tämä insinöörityö toteutettiin vantaalaiselle perheyriykselle KATKO Oy:lle. Yrityksen päätuotteita ovat turvakytkimet, kytkinvarokkeet sekä sähköliittimet. Työn tehtävänä oli olla osa käyttöönottoprojektia, jossa pystytettiin uutta automatisoitua tuotantosolua uusien sähköliitinten alumiiniosien valmistamiseksi.</p> <p>Projektin aikana tehtävät painoutuivat Brother Speedio -työstökeskuksen paletin ja puristinjärjestelmän suunnitteluun. Työstökeskuksella on kääntyvä paletti, jonka molemmiin puoliin kiinnitettiin 3 kpl Schunkin pneumaattisia puristimia. Puristimien alle suunniteltiin alumiininen pohjalaatta, joka kiinnittyy palettiin. Puristimien ohjaus on toteutettu ohjausyksiköllä, josta puristus voidaan ottaa joko manuaalisesti tai sähköisesti logiikkaohjauksella. Kun ohjaus on manuaaliasetuksella, voidaan puristimia avata ja sulkea työstökoneen sisällä olevista vivuista.</p> <p>Lisäksi projektin aikana suunniteltiin tarttuja työstökoneen kappaleenvaihtoa toteuttavaa robottia varten. Tarttujaan valittiin 3 kpl 1-suuntaisia tarttuvia sekä niihin sopivat anturoinnit. Tarttujen ympärille suunniteltiin alumiinirunko, joka kiinnittyy Fanuc-robottiin QC90-B-pikakiinnityslaipalla.</p> <p>Projektin loppuvaiheessa päästiin testaamaan puristimien toimintaa ja koeajamaan työstökoneella nc-ohjelmia. Ennen robotin saapumista voitiin aloittaa tuotanto manuaalisella kappaleenvaihdolla. Projektin on määrä jatkua vielä insinöörityön päätyttyä.</p>	
Avainsanat	Nc-työstökeskus, paletti, puristin, robotti, tuotantosolu

Author Title	Ville Kontturi The commissioning project of automated product line
Number of Pages Date	22 25 January 2018
Degree	Bachelor of engineering
Degree Programme	Machine and product technology
Specialisation option	Product technology
Instructor(s)	Tomas Finell, R&D Manager Pekka Salonen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was made with a Finnish family company KATKO Oy. Main products of the company are safety switches, switch fuses and terminal blocks. Job of the Bachelor's thesis was to be a part of the project group. The aim of the work was to create a new product line for manufacturing aluminium parts of terminal blocks.</p> <p>Main tasks while project was to plan a new pneumatically automated clamping system for a Brother Speedio nc-milling machine. In a milling machine there is a turning pallet. On the both sides of the pallet are three Schunks pneumatic clamping blocks. Aluminum base plate was designed to under the clamping blocks. Controlling of the clamping blocks was carried out with a pneumatic controlling unit. Control can be taken automatically with a logic programming or manually activated.</p> <p>In addition, during the project, the robot gripper hand was designed to replace work pieces in milling machine. A gripper hand works with three one way grippers and it is controlled with sensors. Around the gripper was designed to an aluminium frame. Aluminum frame is connected to the Fanuc robot with a QC90-B quick release flange.</p> <p>At the end of the project were allowed to test clamping blocks, grippers and nc-programs. Before robot became to KATKO we could be start production with manual control. This project will continue after Bachelor's thesis.</p>	
Keywords	nc-machine, clamping blocks, robot, product

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	KATKO Oy	2
3	Taustatietoja	2
3.1	KL-liitin	3
3.2	Brother Speedio R650X1 -työstökeskus	5
3.3	Vanha layout	7
4	Projektin suunnittelu	8
5	Kiinnittimien suunnittelu	10
5.1	Pohjalevyn suunnittelu	10
5.2	Leukojen suunnittelu	12
5.3	Pneumatiikan suunnittelu ja toteutus	15
5.4	Paletin kokoonpano	17
5.5	Paletin suojaus	17
6	Robotin tarttuja	19
7	Järjestelmän käyttöönotto	20
7.1	Aluslevyyn ja puristimien asennus	20
7.2	Pneumatiikan asennus ja testaus	21
7.3	Työkalujen asetus ja mittaus	23
7.4	NC-ohjelmointi	24
7.5	Leukojen ja liitinten koneistus	25
8	Yhteenveto ja lopputulos	26
8.1	Yhteenveto	26
8.2	Lopputulos	27
	Lähteet	28

## 1 Johdanto

Tämä insinöörityö on osa projektia, jossa rakennettiin uutta tuotantosolua. Tehtävänäni oli olla mukana Brother Speedio -työstökeskuksen käyttöönotossa. Toimenkuvaan kuului mm. työstökoneen paletilla olevien puristimien suunnittelu ja käyttöönotto sekä niiden automatisointi, nc-ohjelmien suunnittelu yhdessä tuotannon henkilöstön kanssa sekä ohjelmien testaus ja kappaleenvaihtoa suorittavan robotin tarttujan suunnittelu.

Projektin tavoitteena oli saada työstökeskus tuotantokäyttöön mahdollisimman nopeasti. Tavoitteena oli myös toteuttaa ratkaisu, joka on helposti automatisoitavissa. Työstöajat pyrittiin myös optimoimaan mahdollisimman lyhyiksi.

Pystytettävän tuotantosolun tarkoituksena on valmistaa erikokoisten sähköliitinten alumiinisia metallirunkoja. Liitinkokoja on lähtökohtaisesti 8 eri kokoa, joten tuotteiden valmistus ja kiinnitys täytyi suunnitella jokaiselle erikseen. Tuotanto pyritään kuitenkin toteuttamaan siten, että työtä voi vaihtaa mahdollisimman pienillä ja yksinkertaisilla asetuksen teoilla.

Projektin alussa ruvettiin hahmottelemaan tilaa, johon solu rakennettaisiin. Tuotantotila oli vanha alumiinivalimo. Materiaalivirran helpottamiseksi tilaan rakennettiin uusi sisäänkäynti ja sen edusta asfaltoitiin. Soluun oli määrä tuoda nc-työstökeskus, robotti, automaattisaha, varastotilaa alumiiniprofiileja varten sekä mahdollinen rummutuskone. Lisäksi tuotantotilaan tuotiin yrityksen vanha Fadal-nc-työstökeskus.

## 2 KATKO Oy

KATKO Oy:n edeltäjä Auto-Koneistamo Oy oli vuonna 1938 perustettu perheyritys, jonka pääasiallinen toimenkuva oli korjata auton moottoreita. Yrityksen perustajia olivat Kauko ja Tauno Hyryläinen. Auto-Koneistamo Oy oli palveluyritys, jonka tärkeimpiä toimintaperiaatteita oli jatkuva tuotantomenetelmien kehittäminen.

Auto-Koneistamo Oy on muuttanut sittemmin nimeänsä ja toimenkuvaansa. Nykyisin yritys tunnetaan nimellä KATKO Oy ja sitä johtaa toimitusjohtaja Jukka Hyryläinen. KATKO on kansainvälinen teollisuusyritys, jonka päätuotteita ovat turvakytkimet ja kyt-kinvarokkeet. Yritys suunnittelee ja valmistaa tuotteensa lähes kokonaan itse. Osa tuot-teiden osista tulee alihankittuna, kuten esimerkiksi kytkinten koteloinnit. Tuotteista vien-tiin menee yli 60 %, ja asiakkaita KATKOLla on yli 50 maassa.

Tärkeimpiä toimialoja ovat:

- elintarviketeollisuus: ruoan jalostus, teurastamot, meijerit ja panimot
- ilmastointi: ilmastointi ja lämmitys
- raskas teollisuus: metsä-, metalli- ja konepajateollisuus
- vaativat ja vaaralliset olosuhteet: kaivokset, telakat sekä öljyn ja kaasun jalostus
- sähköjakelu: keskuksien ja kojeistot
- uusiutuva energia: aurinkoenergia, tuulivoima ja uusiopolttoaineet.

Yrityksellä on tehdas sekä Suomessa, että Puolassa. Suomen tehdas työllistää noin 100 henkilöä. Henkilöstöstä noin 20 % on toimihenkilöitä ja 80 % tuotannon työntekijöi-tä. [4;5.]

## 3 Taustatietoja

Yrityksessä on tehty tuoteuudistus ja vanhat KL-liittimet on suunniteltu ja päivitetty uu-siin versioihin. Liitinten metalliosien valmistus on päätetty aloittaa omalla tehtaalla Van-taalla. Tuotantotilaksi on valittu KATKO Oy:n tiloissa oleva vanha muovivarasto. Metal-liosien koneistusta varten on hankittu uusi Brother Speedio R650X1 -työstökeskus. Uuden liittimen tuotanto oli tarkoitus suunnitella syksyn 2017 aikana siten, että liittimen valmistuslinja olisi automatisoitu kevääseen 2018 mennessä.

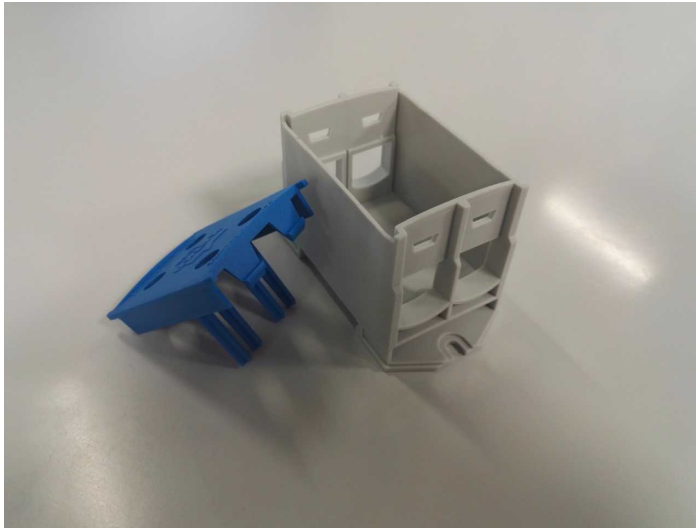
### 3.1 KL-liitin

KL-liitin (KATKO liitin) on sähköliitin, joka on tarkoitettu sähkökaapeissa erikokoisten alumiini- ja kuparikaapeleiden liittämiseen. Liittimiä on neljälle eri kaapelikoolle: 50 mm<sup>2</sup>, 95 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup> ja 240 mm<sup>2</sup>. Kaikille kaapelivahvuuksille löytyy liitin sekä kahdella että neljällä johdinliitännällä. Yhteensä liitinkokoja on siis kahdeksan kappaletta. Tuotteiden nimike määräytyy sen napaluvun mukaan ja siinä käytettävän kaapelin koon mukaan. Esim. KL 1x50: KL = KATKO-liitin, 1 = napaluku ja 50 on suurin sallittu kaapelin poikkileikkauksen pinta-ala. Lisäksi nimikkeen perässä voi olla merkintä N tai PE. N tarkoittaa sinikuorista liitintä ja PE tarkoittaa keltavihreää liitintä. Taulukossa 1 on listattu KL-liitinten sähkö- ja kaapelitiedot.

*Taulukko 1: KL-liitinten sähkö- ja kaapelitiedot*

Nimike	Napaluku	Kaapelin koko [mm <sup>2</sup> ]	Jännite [V]	Virta [A], alumiini	Virta [A], kupari
KL 1x50	1	2,5-50	1000	160	160
KL 1x95	1	16-95	1000	200	245
KL 1x150	1	25-150	1000	250	320
KL 1x240	1	35-240	1000	315	420
KL 2x50	2	2,5-50	1000	160	320
KL 2x95	2	16-95	1000	400	490
KL 2x150	2	25-150	1000	500	640
KL 2x240	2	35-240	1000	630	850

Liittimen kotelo (*kuva 1*) on ruiskupuristettua polyamidimuovia. Koteloita on saatavilla kolmessa eri värissä käyttötärpeistä riippuen. Koteloiden värit ovat harmaa, siniharmaa ja keltavihreä. Kotelon takapuolella on ura sekä kiinnitysjouso ja kiila, joka mahdollistaa kiinnityksen standardisoituun DIN-kiskoon. Liittimen kansi on myös ruiskupuristettua PA-muovia. Kanteen on valettu kiinnityskynnet, jotka pitävät sen kiinni kotelossa. Liittimen kokoonpano ei siis vaadi ruuveja. Lisäksi kannessa on kaksi tai neljä muovitappia, jotka ulottuvat liittimen läpi aina pohjaan saakka. Näiden tappien tehtävä on estää liittimeen kytkettävien kaapeleiden osumista toisiinsa.



*Kuva 1: KL 2x95N -kotelon kansi ja kotelo*

Liittimen sisäosa (kuva 2) on sahattu alumiiniprofilista ja siihen on koneistettu tarvittavat reiät. Kappaleessa olevat kierrereiät ovat kaapeleiden kiinnitystä varten ja pienet reiät ovat liittimen kannessa olevia tappeja varten. Koneistuksen jälkeen metalliosasta on rummutettu purseet pois. Ennen liittimen kokoonpanoa metalliosa käy pinnoituksessa, jossa siihen vedetään kupari- sekä tinapinnoite. Pinnoituksen tarkoituksena on parantaa sähkönjohtavuutta.

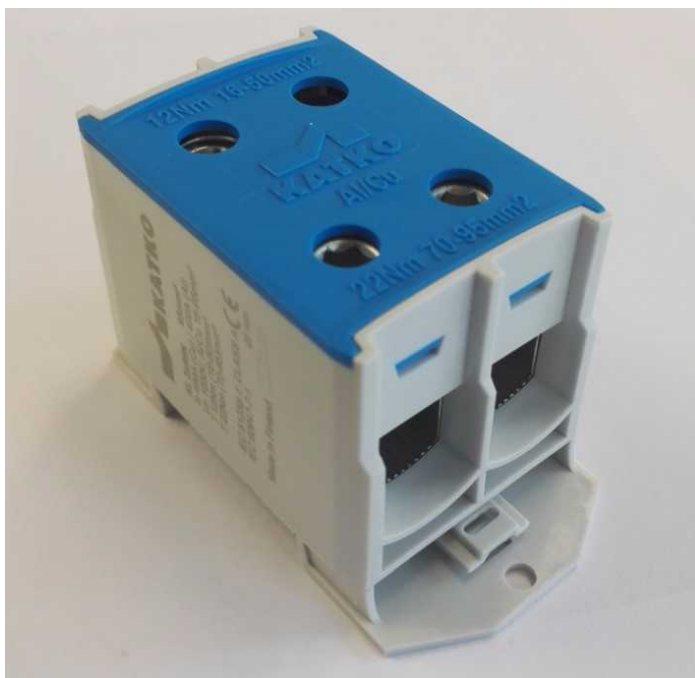


*Kuva 2: KL 2x95 -liittimen metalliosa*

Liittimen kokoonpanovaiheessa metalliosien kierteet voidellaan kitkan vähentämiseksi ja niihin kierretään kuusiokoloruuvit valmiiksi paikoilleen. Isommissa liittimissä ruuvit ovat pinnoitettua alumiinia, mutta pienemmissä liittimissä ruuvit ovat terästä.



KL 1x150-, KL 2x150-, KL 1x240- ja KL 2x240 -liittimiin kiinnitetään pohjaan DIN-kiinnityskynsi, jolla liitin voidaan lukita asennuskiskoon. Pienemmissä liittimissä kiinnityskynsi on valettu runkoon kiinteäksi osaksi, jota ei tarvitse erikseen asentaa. Metallosa sijoitetaan kotelon sisään, minkä jälkeen kansi asetetaan paikoilleen. Lopuksi tuotteen kylkeen tehdään laserilla arvokilpimerkintä, josta ilmenee mm. sähkötiedot, kiristysmomentit, sallitut kaapelien koot, standardimerkinnot, valmistusmaa sekä muita asiakkaan mahdollisesti haluamia tietoja. Valmiit kytkimet (kuva 3) pakataan ja lähetetään asiakkaalle tai käytetään omien tuotteiden kokoonpanoissa.



Kuva 3: KL 2x150N –liitin

### 3.2 Brother Speedio R650X1 -työstökeskus

Brother Speedio R650X1 (kuva 4) on pystykarainen työstökeskus, joka tarkoitettu erityisesti poraukseen ja kierteytykseen. Koneessa on kääntyvä paletti, joka mahdollistaa sen, että työstökeskukseen voidaan jo ajon aikana asettaa seuraavat koneistettavat kappaleet kiinni leukoihin. Työtason ala on 800 mm x 400 mm. Koska työkalumakasiinin revolveri on koneen karalla, se mahdollistaa työkalun vaihdon alle kahdessa sekunnissa. Koneessa on Brotherin oma ohjelmointi, mutta siihen voidaan tehdä no-ohjelmia helposti postprosesseja käyttäen PowerMilli -ohjelmistolla. Laitteen tekniset tiedot löytyvät taulukosta 2.



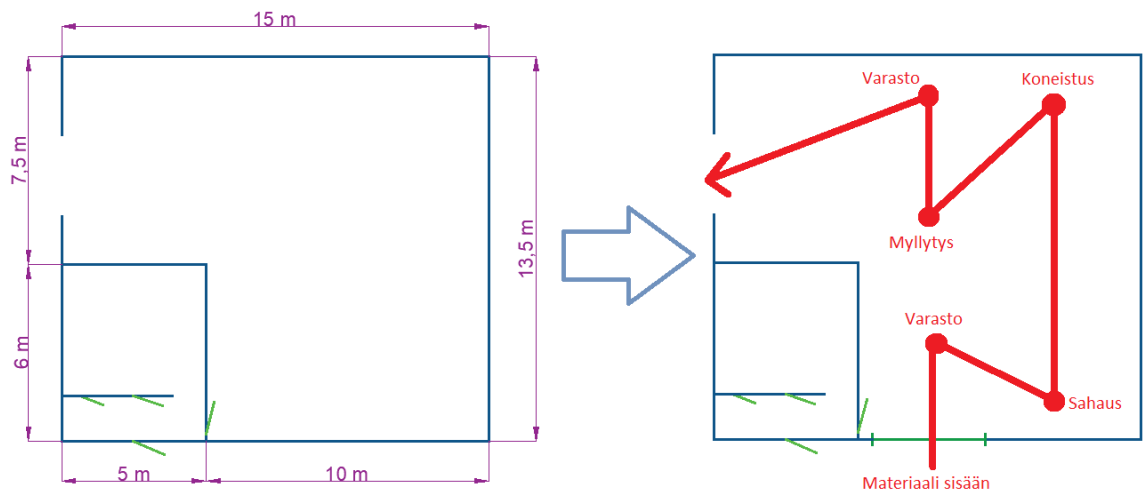
Kuva 4: Brother Speedio R650X1 -työstökeskus [1]

Taulukko 2: Brother Speedio X650R1:n tekniset tiedot [2]

X-akseli [mm]	650
Y-akseli [mm]	400
Z-akseli [mm]	305
Työtaso [mm]	400 x 800
Pyörimisnopeus [rpm]	10 000
Maksimi pyörimisnopeus kierteytyksen aikana [rpm]	6 000
Leikkuunopeus [mm/min]	30 000
Työkalumakasiinin kapasiteetti	22
Työkalun vaihtonopeus [s]	1,7
Maksimi työkalunpituus [mm]	200
Maksimi työkalun halkaisija [mm]	80
Maksimi työkalun massa [kg]	40
Koneen korkeus [mm]	2 696
Koneen leveys x pituus [mm]	1 837 x 3 248
Kääntöpöydän kääntösäde [°]	180
Suurin sallittu kääntöhalkaisija [mm]	1 300
Maksimi kuormitus [kg]	200
Pöydän kääntöaika [s]	3,4
Näyttö	12,1" LCD väri
Tiedonsiirto	USB Ethernet RS232C
Rekisteröitävien ohjelmien määrä	4 000

### 3.3 Vanha layout

Vanhasta varastotilasta (kuva 5) mallinnettiin pohjakuva, jotta materiaalivirtojen ja koneiden sijaintien suunnittelu helpottuisi. Kuvasta katsottuna tilan vasemmassa alanurkassa oleva tila on kompressorihuone, joka jätetään ennalleen, pois lukien mahdolliset sisäänkäyntimuutokset. Alustava ajatus on, että alareunalla olevalle 10 m pitkälle seinälle tehtäisiin uusi 4 m leveä oviaukko, joka mahdollistaisi materiaalin vastaanoton ja varastoinnin samassa tilassa, jossa profiilit työstetään. Näin ollen materiaali saataisiin kuljetettua järkevästi ja mahdollisimman vähäisellä liikuttelulla suoraan pajan läpi ja jatkamaan matkaansa pakkaamon kautta pinnoitettavaksi vasemmalla ylhäällä olevasta oviaukosta.



Kuva 5: Vanhan hallin pohjakuva ja esimerkkiluonnos mahdollisesta uudistuksesta

Ennen layoutmuutosta varastosta tulee purkaa kaikki varastohyllyt seiniltä, tyhjentää tila kaikesta ylimääräisestä sekä muuttaa vesijohtojen reitti siten, että oven rakentaminen on mahdollista. Lisäksi hallin ulkopuolelta täytyy kaivaa maata oviaukon edustalta sekä asfaltoida piha. Tämän jälkeen seinän purku ja oven rakennus on mahdollista. Kaivuutöiden oli määrä alkaa syyskuun 2017 puolessavälissä.

## 4 Projektin suunnittelu

Ennen päätöstä laitehankinnoista ja päätösten hyväksyttämistä käytiin läpi eri vaihtoehtoja uuden tuotantosolun kalustosta. Solua ruvettiin suunnittelemaan Brother-työstökeskuksen ympärille. Myöhempiä laitehankintoja olivat Fanucin robotti sekä Kas-ton automaattisaha.

Kun materiaali on saapunut tehtaalle ja se on vastaanotettu, niin se siirretään tuotantolinjan vierellä olevaan materiaalivarastoon. Uutta työtä aloittaessa siirretään tankovarastosta tarvittava määrä tankoja sahan läheisyyteen tai sahalla olevaan makasiiniin. Sahan automaattisyöttö työntää tankoa eteenpäin siten, että sahattu kappale tipahtaa kuljettimelle tai kiskolle, joka vie aihiota kohti työstökeskusta. Tarjouspyyntöjen perusteella arvioitu sahaukseen kuluva aika on  $X - X$  s, riippuen valmistettavan liittimen koosta.

Sahauksen jälkeen robotti nostaa aihiot työstökeskuksen paletilla oleviin pneumaattisiin 0-pistekiinnittimiin. Koneistuskeskus kääntää paletin, minkä jälkeen se aloittaa työstämisen. Työstökeskuksen työvaiheet ovat pieni poraus, iso poraus, kierteytys sekä mahdollinen reikien senkkaus. Mikäli työstökoneeseen asetetaan kerrallaan 3 aihiota, niin niiden työstämiseen arvioitu kuluva aika pienimmillä liittimillä on  $XX$  s ja suurimmilla liittimillä on  $XX$  s. Koneistusajat ovat laskettu työkaluvalmistajan antamien työstöarvojen mukaan. Lisäksi työkierron pituuteen on otettu huomioon kappaleen vaihtoon ja paletin kääntöön kuluva aika, pikaliikkeisiin kuluva aika sekä työkalujen vaihtoihin kuluva aika.

Kun liittimien koneistusvaihe on valmis, niin robotti siirtää jälleen tuotteita linjastolla eteenpäin. Robotti irrottaa työstökeskukselta liittimet ja nostaa ne kuljettimelle, joka vie ne kohti rummutuskonetta. Rummutuksessa liittimistä hioutuvat pois sahauksen ja koneistuksen aikana syntyneen purseet. Laitemyyjän mukaan rummutuskoneeseen voitaisiin kerrallaan laittaa  $XXX$  tuotetta ja niiden rummutukseen kuluva aika on  $X$  h. Tällöin yhden viimeistely kestäisi  $X$  s.

Arvioitujen työstöaikojen perusteella laadittiin taulukko 3, jonka avulla voi ennalta päätellä tuotannossa syntyviä pullonkauloja. Alustavasti voitiin päätellä, että valmistuvien kappaleiden määrä tulee määräytymään  $XXXXXX$ ajan mukaan, mikäli tarpeeksi tehokasta  $XXXXX$  ei löydy. Lisäksi aiemmin laskettujen työstöaikojen perusteella laadittiin

taulukko 4, jonka avulla pyrittiin arviomaan mahdollisia tuotantovolyymeja. Taulukosta nähdään, että pienimpiä liittimiä pystytään valmistamaan XXX kpl tunnissa, mutta suurimpia liittimiä on mahdollista valmistaa vain vajaa XXX kpl.

*Taulukko 3: Tuotantoajat, punaisella merkattu pullonkaulat (Taulukon tiedot on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*

	Sahaus [s]	Koneistus[s]	Rummutus [s]
KL 1x50			
KL 1x95			
KL 1x150			
KL 1x240			
KL 2x50			
KL 2x95			
KL 2x150			
KL 2x240			

*Taulukko 4: Arvioidut tuotantovolyymit (Taulukon tiedot on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*

	Sahaus [kpl]	Koneistus [kpl]	Rummutus [kpl]
KL 1x50			
KL 1x95			
KL 1x150			
KL 1x240			
KL 2x50			
KL 2x95			
KL 2x150			
KL 2x240			

## 5 Kiinnittimien suunnittelu

Työstökeskuksen kiinnittimiksi valittiin Schunkin KSP-LH plus 100 -pneumatiikkapuristimet (*kuva 6*). Puristimet on lisävarustettu sähköisellä anturoinnilla, mikä mahdollistaa puristimen automatisoinnin ja yhteistyön robottiohjauksen kanssa. Kiinnittimien puristusliikkeen väli on 6 mm ja puristusvoima 8 kN. Leukojen pituus on 55 mm ja kiinnitin puristuu 0,2 s:ssä, mikä soveltuu hyvin pienten kappaleiden koneistukseen. [3;8.]



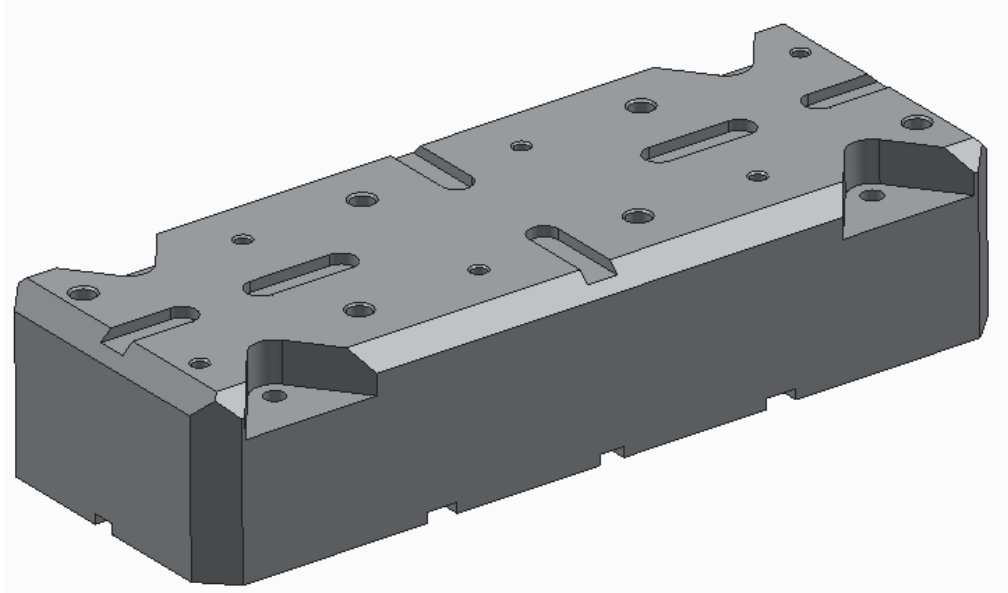
*Kuva 6: Schunk KSP-LH plus 100 -puristin [3]*

Kiinnittimiä varten tuli suunnitella työstökeskuksen paletin ja kiinnittimien väliin pohjalevy. Pohjalevyn tehtävänä on saada kiinnittimet sijoitettua järkevästi ja tukevasti työstökeskukseen. Lisäksi jokaiselle liitin koolle tuli suunnitella omat leuat.

### 5.1 Pohjalevyn suunnittelu

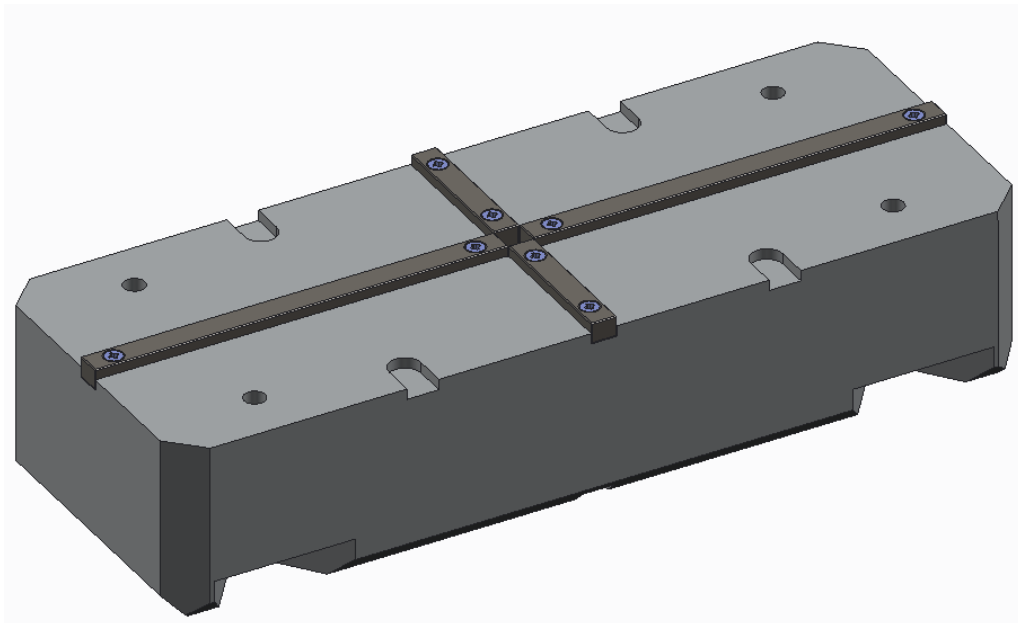
Pohjalevyn materiaaliksi valittiin alumiini. Levyn suunnittelu aloitettiin valitsemalla päämitat. Pohjalevyn koon tuli olla sellainen, että siinä olevat puristimien kiinnitysreiät ja pöydän kiinnitysreiät eivät tule samaan kohtaan. Lisäksi tuli huomioida, että puristimet eivät saa olla liian lähellä tai liian kaukana toisistaan. Työstökoneen paletilla olevien kiinnitysreikien jako on 100 mm/suunta, jolloin kiinnitysreikien väleiksi valikoitui pitkällä sivulla 300 mm ja lyhyellä sivulla 100 mm. Pohjalevyn yläpintaan (*kuva 7*) suunniteltiin

pieniä uria kiinnittimien alapuolelle siltä varalta, että puristimia joudutaan joskus irrottamaan. Uria apuna käyttäen puristimet voidaan helpommin kiilata irti pohjalevystä.



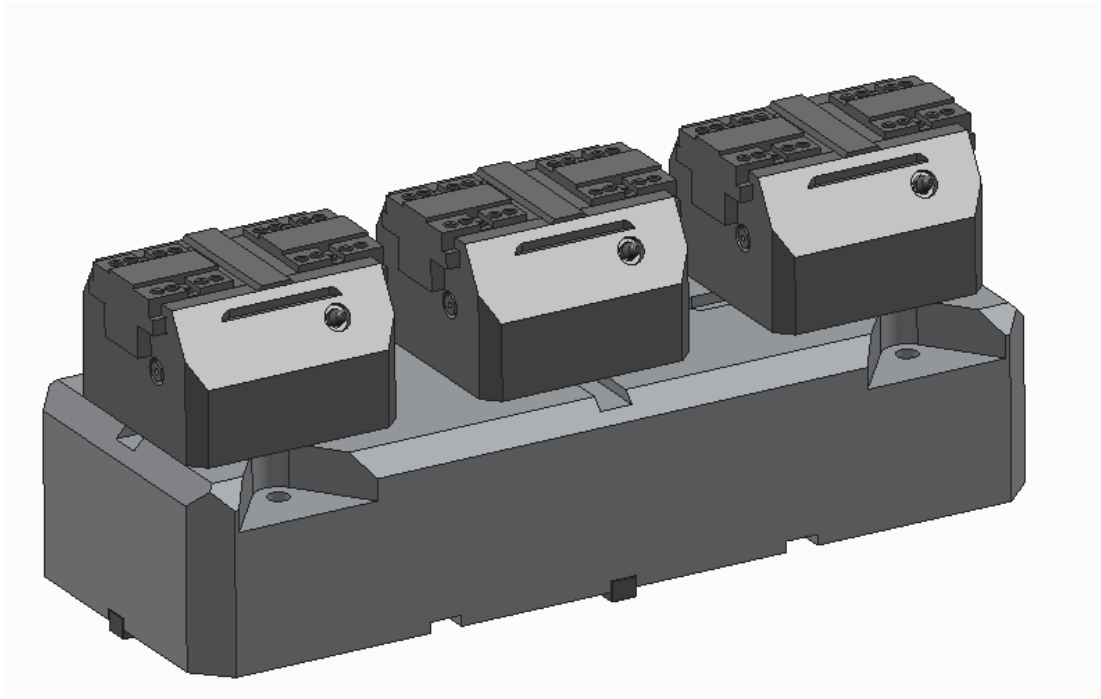
*Kuva 7: Pohjalevy yläpuolelta*

Pohjalevyn alapuolelle (kuva 8) suunniteltiin kiilaurat, joihin koneistetaan kiilat. Kiilojen avulla pohjalevyt voidaan keskittää keskele työstökeskuksen palettia. Kiilojen ja kiilaurien leveys on 12 mm. Urien toleranssi on H8 (+0,03/-0,00) mm, ja kiilojen toleranssi on h9 (+0,00/-0,04) mm.



*Kuva 8: Pohjalevy alapuolelta*

Lopuksi pohjalevyyn sovitettiin kiinnitinvalmistajan luomat 3D-mallit oikeista kiinnittimistä, jotta voitiin varmistua siitä, että kiinnittimet mahtuvat aukeamaan pohjalevyllä ja niiden kiinnitysreikien sijainti on täsmälleen oikea (*kuva 9*). Kun 3D-malli ja suunnitelma pohjalevystä oli valmis, laadittiin sen perusteella mittapiirustus, minkä perusteella tuotannon henkilökunta pystyi koneistamaan pohjalevyt.

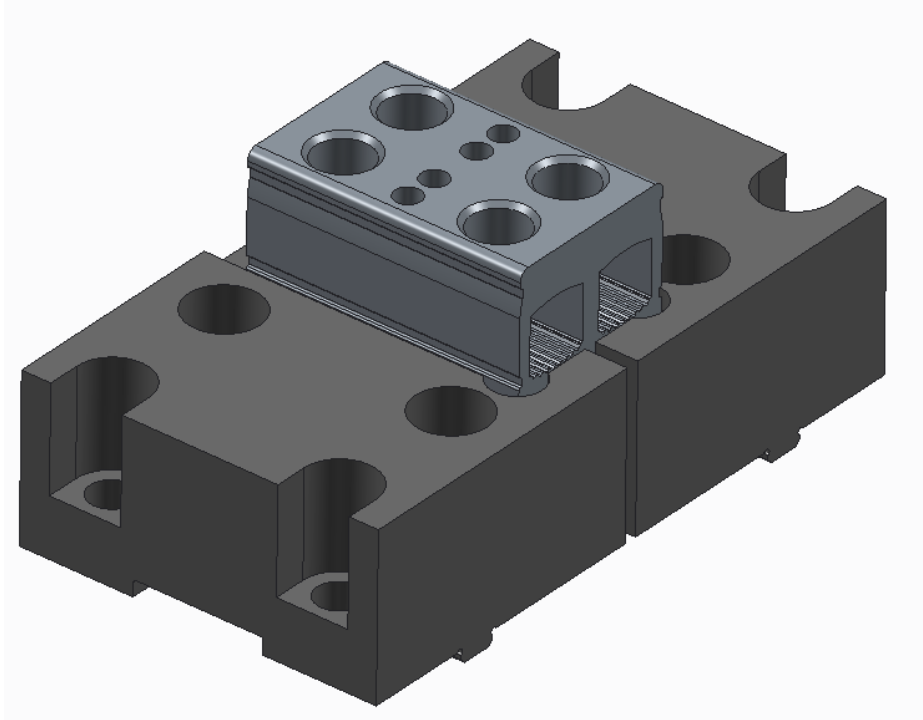


*Kuva 9:* Kiinnittimet pohjalevyssä

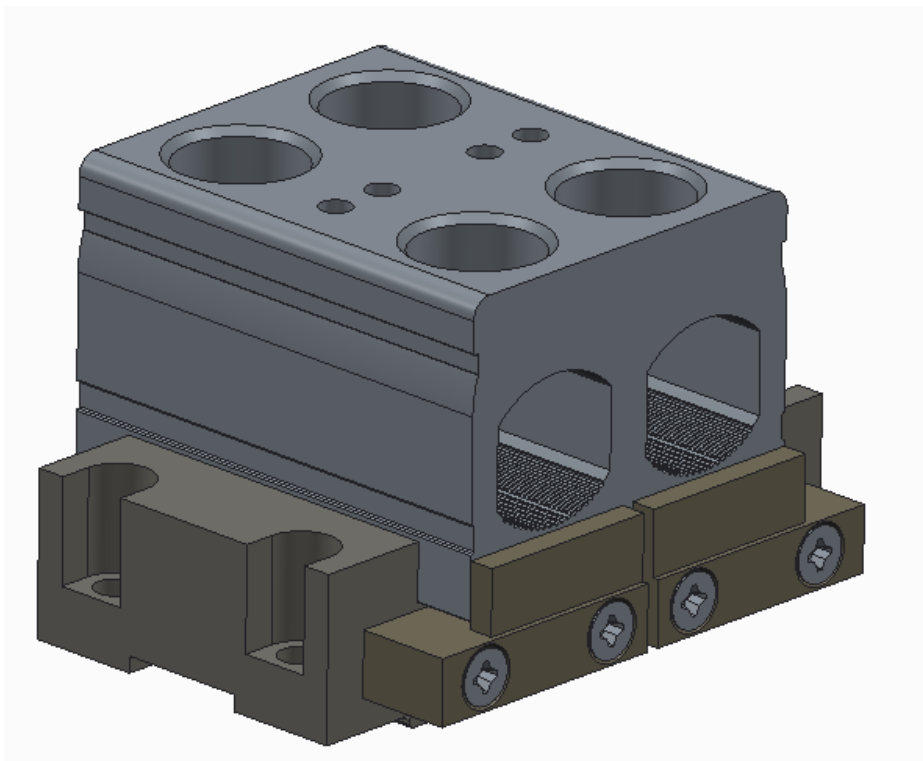
## 5.2 Leukojen suunnittelu

Leukojen valmistukseen käytettiin valmiita Schunkin aihioita, jotka koneistettiin käyttötärpeisiin sopivaan muotoon. Kiinnitysleuat haluttiin tehdä siten, että jokainen työstettävä kappale asettuu aina keskelle leukoja. Tämän vuoksi leuat suunniteltiin niin että jokaisella liitinkoolla on omat leuat ja niissä on omat takavasteet, joihin liittimen painamalla se asettuu keskelle puristinta. Liittimiä 1x50, 2x50, 1x95 ja 2x95 varten puristimet voitiin suunnitella siten, että takavaste voidaan koneistaa kiinteästi leukaan (*kuva 10*). Suurempia liitinkokoja varten leuat suunniteltiin siten, että takavaste koneistetaan erillisenä kappaleena ja se kiinnitetään ruuveilla kiinni leukojen takaseinään (*kuva 11*). Lisäksi leukojen puristuskorkeus haluttiin pitää matalalla, koska samoja leukoja tulisi myös pystyä hyödyntämään KL-liitinkokoa vastaavissa KKL-liittimissä, joihin tullaan tulevaisuudessa koneistamaan erimuotoisia laippoja sekä reikiä.





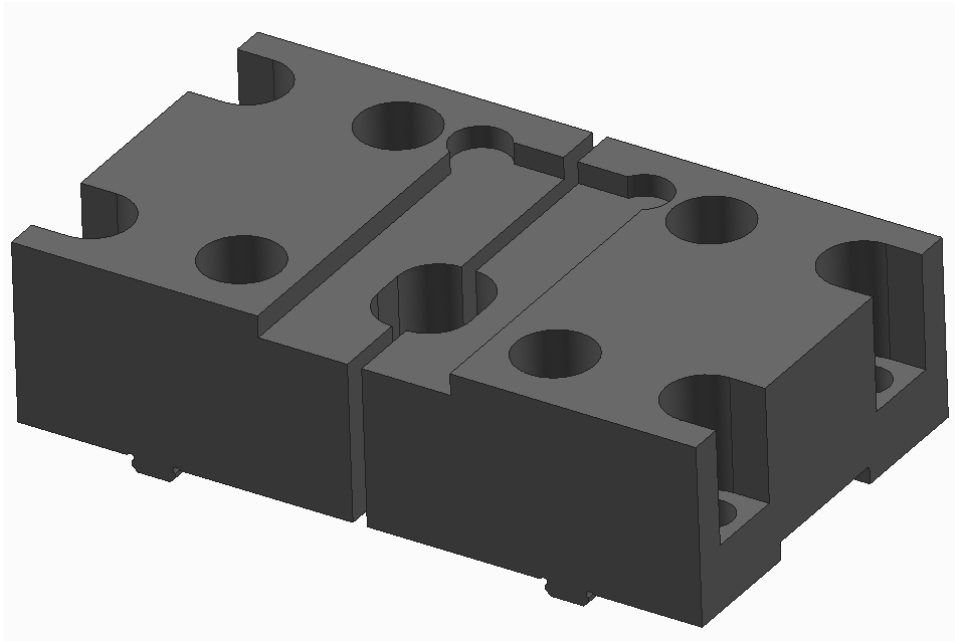
Kuva 10: KL 2x50 -leuat



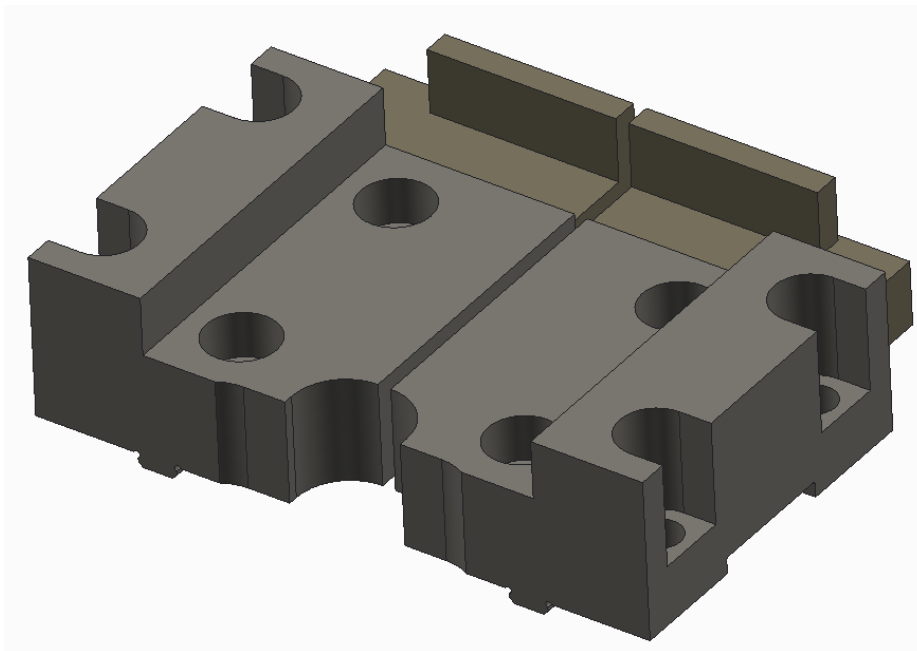
Kuva 11: KL 2x240 -leuat

Lisäksi leukoihin suunniteltiin valmiiksi KKL-liitinten porauksia varten erilaisia aukkoja, jotka mahdollistavat erilaisten reikien ja aukkojen koneistamisen. Seuraavassa on esi-

merkkinä leukojen 2x50 (kuva 12) ja 2x240 (kuva 13) 3D-mallit, joista ilmenevät erimuotoiset poraukset ja väisteet keskellä leukoja.



*Kuva 12: KL 2x50 -leuat ilman työstökappaletta*



*Kuva 13: KL 2x240 -leuat ilman työstökappaletta*

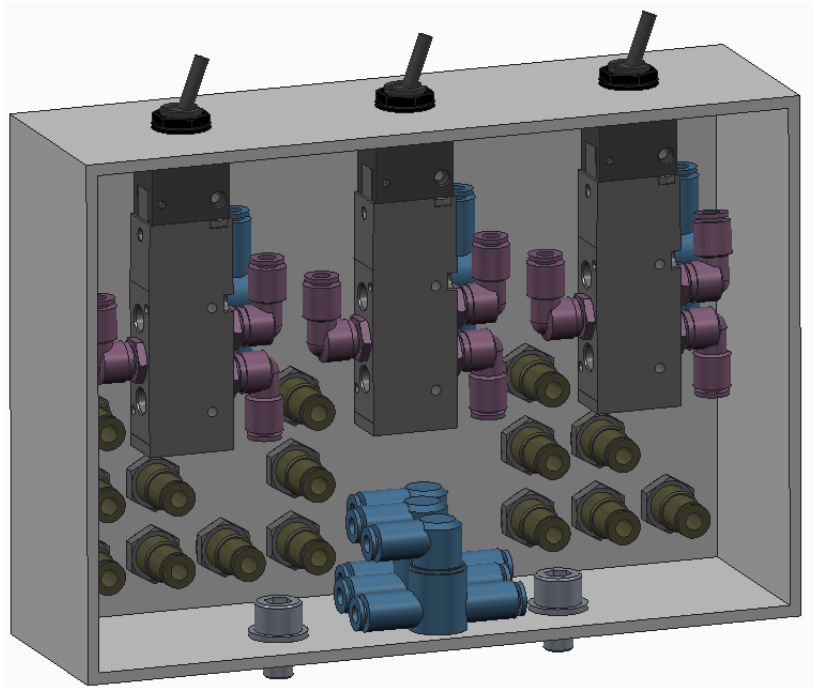
### 5.3 Pneumatiikan suunnittelu ja toteutus

Pneumaattisesti ohjautuvat puristimet tarvitsevat sellaisen ohjauslaitteen, jota pystytään hallitsemaan manuaalisesti sekä robottiohjauksen signaaleilla. Kiinnittimille lähdettiin suunnittelemaan sellaista ohjausyksikköä, joka sisältää sähköisesti ohjattavan 5/2-magneettiventtiilin jokaista puristinta kohden. Ohjausyksikössä tulisi myös olla optiona erikseen valittava manuaali- tai automaattiajo. Manuaaliajossa olisi hyvä olla mahdollisuus vaikuttaa leukojen puristusnopeuteen turvallisuussyistä. Käsikäytöllä olevat vipukytkimet sijoitetaan työstökoneen sisään siten, että niiden käyttö on sopivalla etäisyydellä puristimista, mutta ne eivät aiheuta vaaraa esimerkiksi siten, että niihin olisi helppo nojata tahattomasti ja näin aiheuttaa puristimien ei toivottu sulkeutumislake. Ohjausyksikkö pääteetiin sijoittaa koneen vierelle tulevan robotin läheisyyteen, koska puristimien anturointi tulisi kulkemaan samaa reittiä niiden paineilmaletkujen kanssa. Lisäksi venttiilien robottiohjaus helpottuu, kun ne ovat lähekkäin muiden laitteiden kanssa.

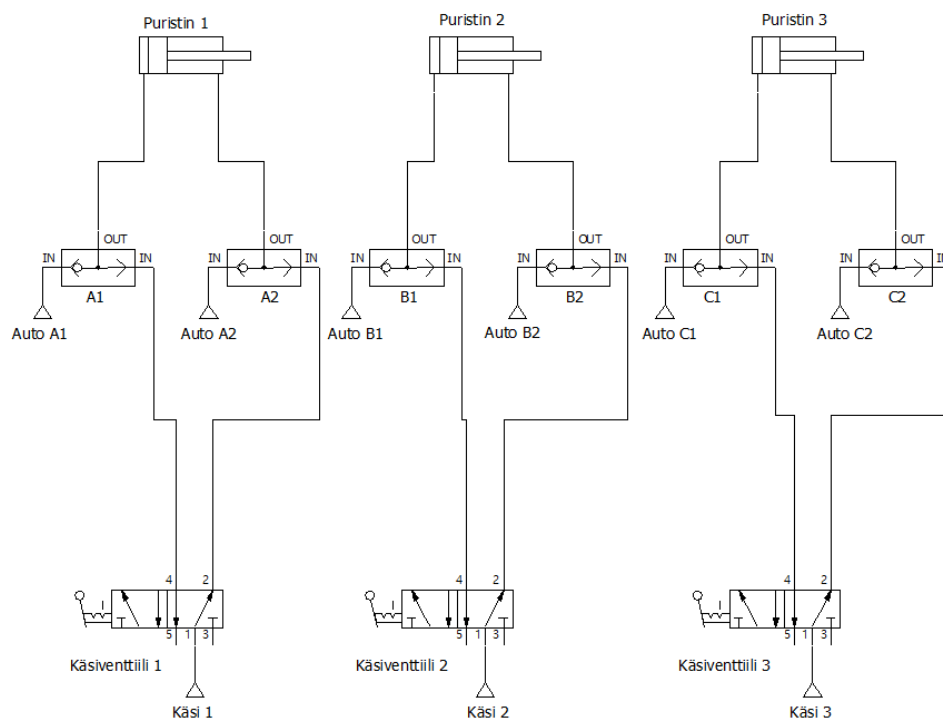
Kun oli saatu valmiiksi suunnitelma siitä, miten ohjauslaitteen tulisi toimia, käytiin pala-veri pneumatiikka-alan ammattilaisen kanssa. SMC:n edustaja Myyjä Ari Salminen osasi neuvoa, mitä osia tarvitaan halutulla tavalla toimivaan ohjausyksikköön. SMC laati esitettyjen vaatimusten mukaan kaksi erilaista tarjouspyyntöä, toinen sisälsi pelkät komponentit ja toinen sisälsi valmiin laitteen kokoonpanon. Pneumatiikkaohjauksen kannalta päädyttiin sellaiseen ratkaisuun, että SMC kokoonpanee valmiin ulkoisen ohjausyksikön, mutta vipukytkimillä toimivat ohjauslaitteet työstökoneen sisälle kokoonpantiin itse. SMC:n toimittaman BOM:n (bill of materials) mukaan laadittiin 3D-suunnitelma (kuva 14) kytkinlaitteen kokoonpanosta sekä pi-kaavio (=kytkentäkaavio) (kuva 15). Koteloksi valittiin katkon oma U4-muovikotelo, jonka sisään sovitettiin kaikki tarvittavat komponentit. [6.]

Kotelo sisältää:

- 3 kpl vivulla ohjattavia 5/2 käsiventtiileitä
- 9 kpl 1/8" kulmaliittimiä pikaliittimellä 6 mm:n letkulle
- 6 kpl tai-venttiileitä pikaliittimellä 6 mm:n letkulle
- 15 kpl tiivistettyjä läpivientiliittimiä 6 mm:n letkulle
- U4 tiivistetty muovikotelo (IP66, kestää joka suunnasta tulevaa kovaa suihkustusta)
- pultit ja aluslaatat kotelon kiinnitystä varten.



Kuva 14: Puristimien manuaaliohjauslaite



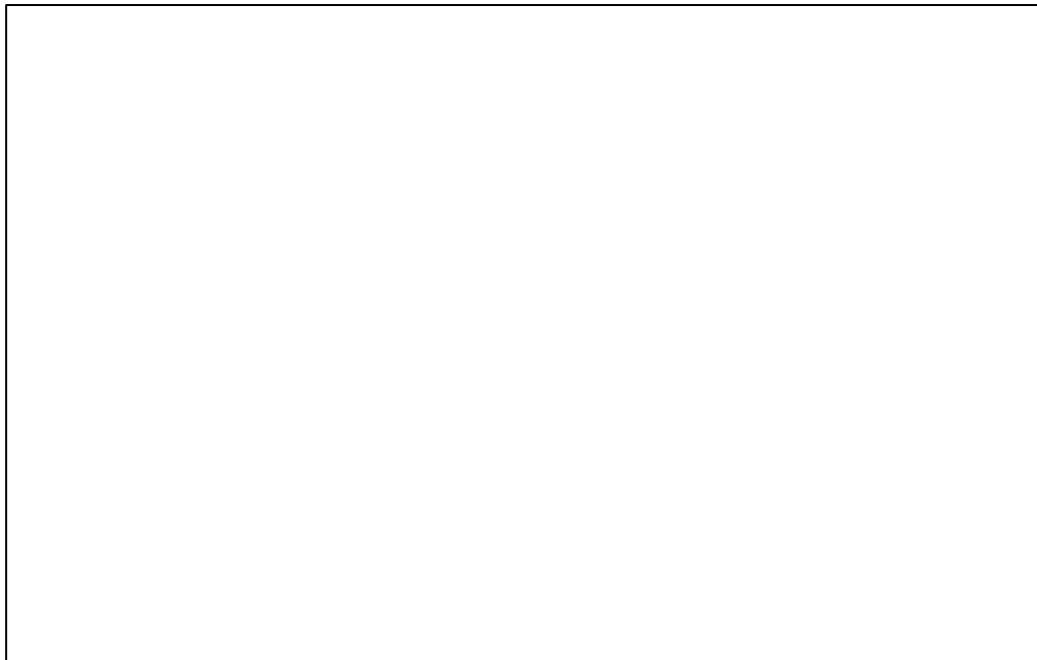
Kuva 15: Pi-kaavio käsiohjausyksiköstä

Kuvassa 15 puristimet 1, 2 ja 3 ovat kuvastettu sylinterien piirrosmerkeillä. A1, A2, B1, B2, C1 ja C2 ovat tai-venttiileitä, jotka mahdollistavat puristimien paineohjauksen joko käsikäytöllä tai erikseen automaattikäytöllä. Käsiventtiilit 1, 2 ja 3 ovat vipukytkimiä,

joiden avulla kiinnittimiä voidaan sulkea tai avata, kun järjestelmä on asetettu käsikäytölle. Auto A1, Auto A2, Auto B1, Auto B2, Auto C1 ja Auto C2 ovat painetuloja, jotka tulevat työstökoneen ulkopuolelle rakennetusta ohjausyksiköstä.

#### 5.4 Paletin kokoonpano

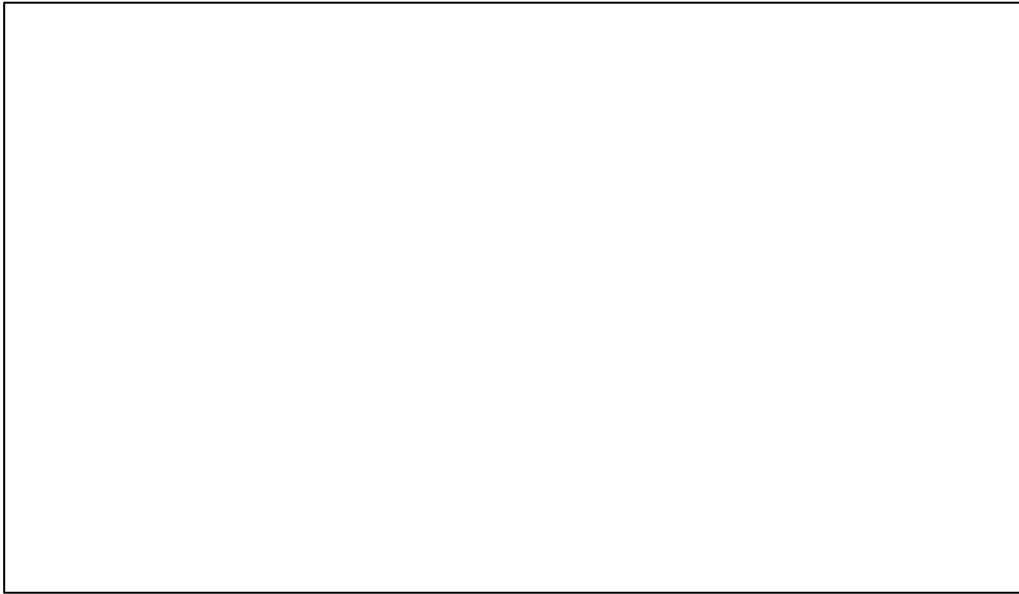
Kuvassa 16 näkyy, kuinka aluslevy, puristimet sekä puristimien käsiohjausventtiilit tulevat kiinnittymään työstökeskuksen paletille. Kuten kuvasta näkyy, niin aluslevyjen korkeutta on muutettu vielä suunnittelun loppuvaiheessa. Muutos johtuu siitä, että saadaan koneistettavat työstökappaleet mahdollisimman lähelle terää, jotta pikaliikkeiden matka voitaisiin minimoida. Todellisuudessa paletin puolessavälissä on väliseinä ja siihen on upotettu kotelointi pneumatiikkaletkuja varten.



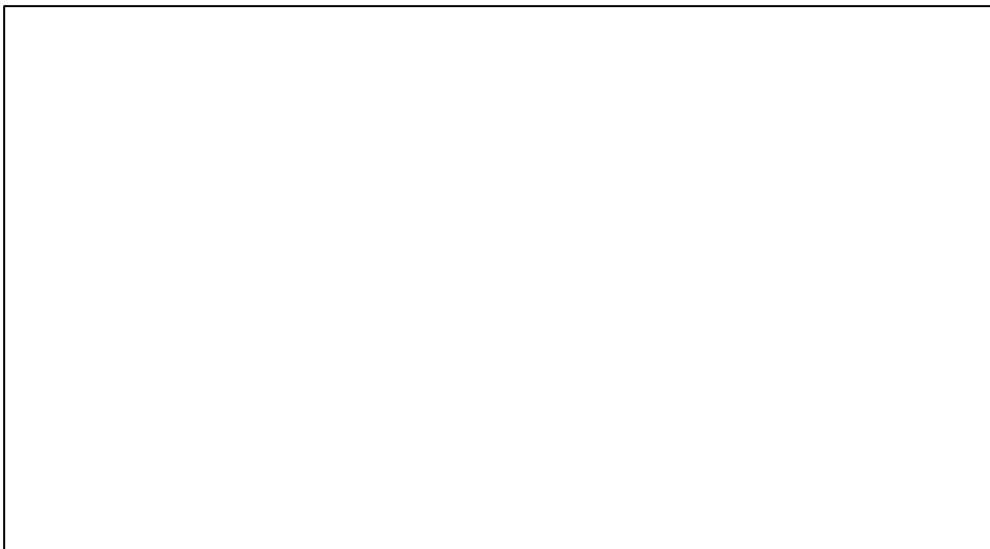
*Kuva 16: Paletin kokoonpano (Kuva on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*

#### 5.5 Paletin suojaus

Koska puristimien pneumatiikkaohjaus sekä anturointi vaativat suurehkon määrän johtoja ja letkuja, joudutaan paletti suojaamaan koteloinnilla. Kotelon avulla voidaan ohjata porauslastu sekä leikkuuneste suoraan lastunpoistokaukaloon, josta lastu jatkaa matkaa lastunkuljettimella ulos koneesta ja leikkuuneste palautuu takaisin järjestelmään. Koteloinnista laadittiin pari erityyppistä 3D-mallia (kuvat 17 ja 18), joiden pohjalta lähdettiin toteuttamaan lopullista ratkaisua.



*Kuva 17: Suojakotelo versio 1 (Kuva on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*



*Kuva 18: Suojakotelo versio 2 (Kuva on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*

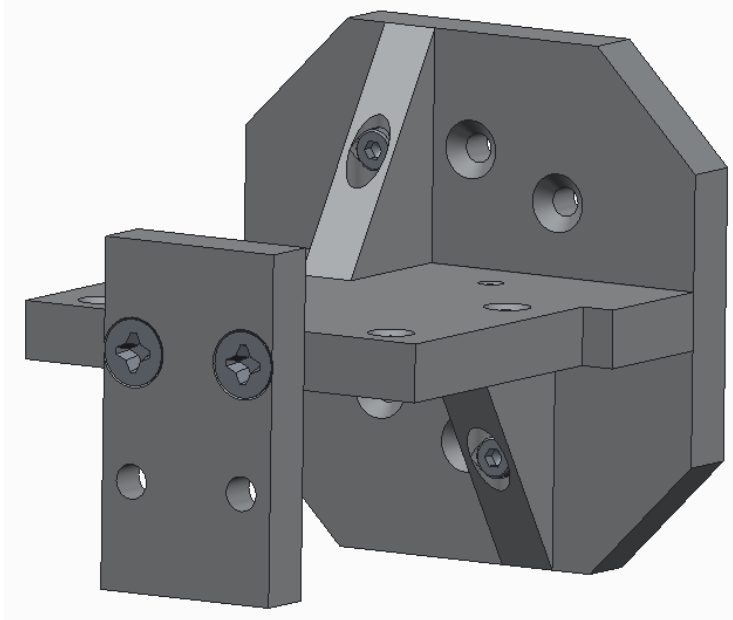
Kuvissa esitetyistä ratkaisuista ensimmäinen olisi helpompi valmistaa, mutta sen toimivuus ei välttämättä vastaa kunnolla odotuksia. Version 1 alareunoihin jää tasanteet ruuvikiinnitystä varten. Tasanne jää kuitenkin mahdollisesti keräämään lastua ja näin ollen hidastaa lastun ja leikkuunesteen kierrätystä eteenpäin. Versio 2 vaikuttaa toimivuudeltaan paremmalta, kuin versio 1. Jälkimmäisessä versiossa lastut ja leikkuuneste ohjautuvat kuvan mukaisesti suoraan paletin reunan ohi ja tipahtavat lastukaukaloön. Kotelon kiinnitys palettiin on toteutettu putkimaisilla kappaleilla, jotka on hitsattu kappaleen sisäpintaan. Putken alapääty on hitsattu umpeen ja siihen porataan 10 mm:n rei-

kä. Putken läpi voidaan työntää pultti, joka kiristyy palettiin. Version 2 valmistaminen vaikuttaa kuitenkin käytännössä hankalammalta.

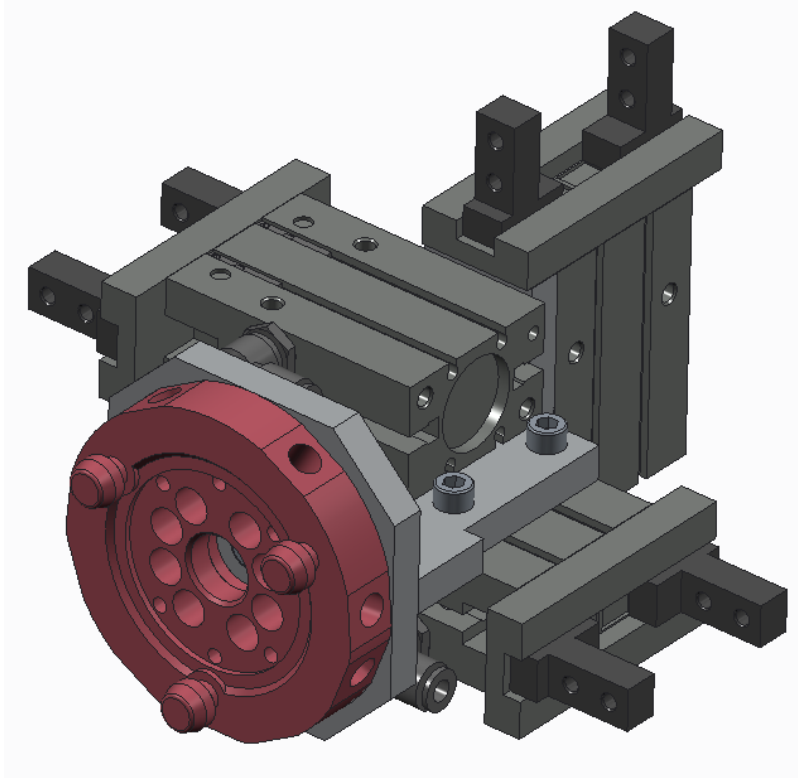
Valmistamisen vaikeudesta johtuen päätettiin suunnitella suorakaiteen muotoinen kotelot ja valmistaa siitä prototyyppi. Prototyyppi otetaan myöhemmin testiin, jonka jälkeen siihen lisätään tarvittavia kallistuksia ohjaamaan leikkuuneste ja lastut pois tieltä. Suojakotelo valmistetaan n. 1 mm:n paksuisesta RST-levystä.

## 6 Robotin tarttuja

Sahan ja työstökoneen väliin tulee Fanucin robotti siirtämään sahattuja aihioita. Robottia varten suunniteltiin mahdollisimman kompakti tarttuja, jolla pystytään liikuttamaan kolmea aihiota kerrallaan. Ensin toimilaitteeksi valittiin SMC:n MHZL2-25S yksitoiminen lineaaritarttuja ja tähän sopiva anturointi D-M9PVL-tunnistin. Lineaaritarttujan ja kiinnityspisteiden mukaan suunniteltiin kolmelle tarttujalle sopiva runko (*kuva 19*). Runko valmistetaan alumiinista ja tähän kiinnitetään tarttujen lisäksi QC90-B-pikakiinnityslaippa (*kuva 20*), jolla tarttuja voidaan kiinnittää robottiin.



*Kuva 19: Robottitarttujan runko kokoonpantuna*



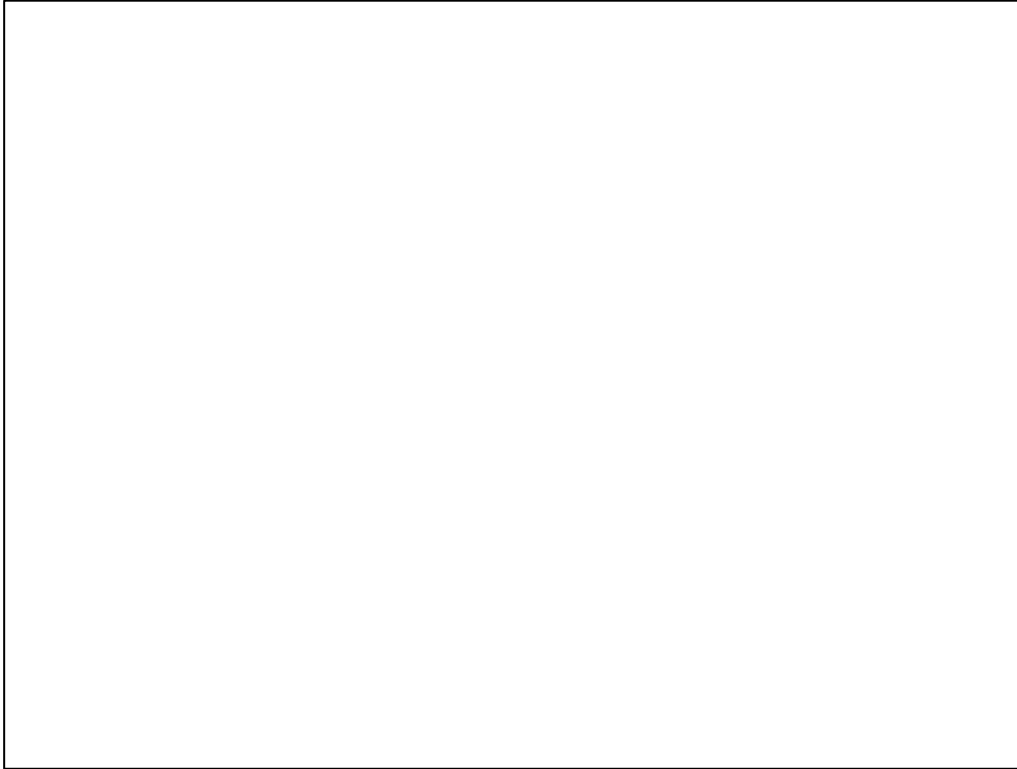
*Kuva 20: Robottitarttuja*

## **7 Järjestelmän käyttöönotto**

### **7.1 Aluslevyyn ja puristimien asennus**

Alumiinisia aluslevyjä valmistettiin suunnitelman mukaisesti KATKOn omalla työkaluosastolla 2 kpl. Aluslevyjen lisäksi koneistettiin levyjen pohjaan ohjauskiilat. Kiilojen avulla pohjalevyt ohjautuivat helposti työstökoneeseen paikoilleen. Aluslevy päästiin asentamaan työstökoneen paletille heti, kun se oli valmistunut (*kuva 21*).





*Kuva 21: Pohjalevy työstökoneen paletilla (Kuva on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*

## 7.2 Pneumatiikan asennus ja testaus

Schunkin puristimet asennettiin aluslevyihin paikoilleen (kuva 22). Myös puristimet asettuivat helposti omille paikoilleen. Aluslevyn asennusrei'issä oli otettu huomioon kiinnittimien molemmissa nurkissa olevat ohjausruuvit, jotka kohdistivat puristimet oikeaan asentoon. Keskimmäisen puristimen keskikohta saatiin kohdistettua täysin pöydän keskelle. Vieressä olevat leuat ovat keskikohtaan nähden 140 mm:n päässä. Työstökoneen 0-piste asetettiin keskimmäisen leuan pintaan, x- ja y-suunnassa keskelle. 0-pisteen mittaus toteutettiin Renishawin mittausanturilla, mikä on asennettu työstökoneen työkalurevolverille.



*Kuva 22: Puristimet ja manuaalikytkimet (Kuva on näkyvissä vain työn teettäjälle.)*

### 7.3 Työkalujen asetus ja mittaus

Työkalulle laskettiin suuntaa-antavat työstöarvot työkaluvalmistajien antamien lähtöarvojen perusteella. Lisäksi työkalujen paikat suunniteltiin työstökeskuksen revolverilla siten, että saman työn koneistukseen käytettävät työkalut olisivat rinnakkain revolverilla. Seuraavassa taulukossa 5 on käytettävät työkalut, niiden sijainnit revolverilla, työstöarvot sekä työkalulla koneistettava työ.

*Taulukko 5: Työkaluluettelo (Osa taulukon tiedoista on näkyvillä vain työn teettäjälle.)*

Työkalupaikka	Työkalun nimi	Koneistettava työ	n [rpm]	vc [mm/min]
T01	4 mm pora	1x50 ja 2x50		
T02	9,26 mm neste-kanavapora	1x50 ja 2x50		
T03	M10-kierretappi, manglaava	1x50 ja 2x50		
T04	13 mm nestekanavapora	1x95 ja 2x95		
T05	M14-kierretappi, manglaava	1x95 ja 2x95		
T06	5 mm pora	95, 150 ja 240		
T07	16,7 mm neste-kanavapora	1x150 ja 2x150		
T08	M18 kierretappi, manglaava	1x150 ja 2x150		
T09	20,5 mm vaihtopalapora	1x240 ja 2x240		
T10	M22-kierretappi, manglaava	1x240 ja 2x240		
T11	50 mm vaihtopala-jyrsin	KKL-liittimet		
T12	5,54 mm neste-kanavapora	1x16		
T13	M6 kierretappi, manglaava	1x16		
T14	20 mm senkkausterä			

Työkalut ja istukat valittiin siten, että niiden yhteispituus ei ylitä koneen rajoittamaa 200 mm:ä, koneen karalta mitattuna. Porien kiinnitykseen käytettiin kutisteistukkaa ja kierretappien kiinnitykseen käytettiin holkki-istukkaa.

Työkalut mitattiin työstökoneeseen asennetulla Renishaw-lasermittausjärjestelmällä. Työkalun mittaaminen laserilla on tehty helpoksi, sillä työntekijän tarvitsee ainoastaan ilmoittaa työstökoneelle mitattavan työkalun sijainti revolverilla sekä työkalun pituus- ja sädekompensointiin tallennettava kansio.

#### 7.4 NC-ohjelmointi

Brother Speedio R650X1 käyttää Brotherin omaa ohjelmointikieltä, mikä muistuttaa hyvin paljon esimerkiksi yleisesti käytettyä Fanucin ohjelmointia. Brotherin oma ohjelmointi sisältää omia G- ja M-koodeja.

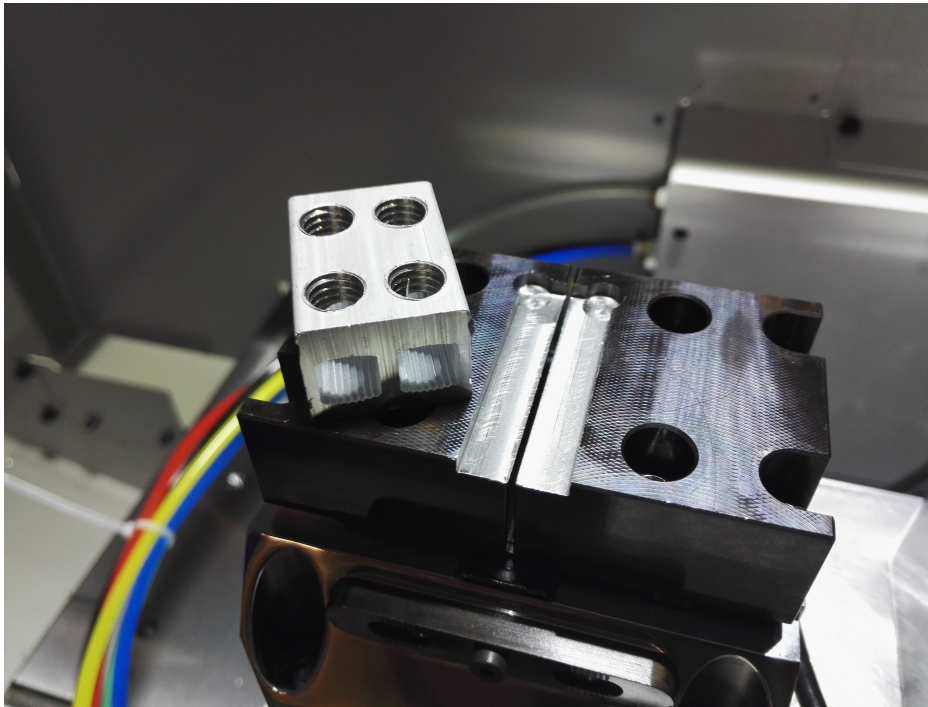
Työstökoneen ohjelmointi toteutettiin yhteistyössä työkaluosaston työntekijöiden kanssa. Ohjelmointiin käytettiin PowerMill -ohjelmistoa. Koska jokaisen valmistajan nc-koodi poikkeavat hieman toisistaan, niin jouduttiin PowerMillillä luotu nc-koodi kääntämään Brotherille ymmärrettävään muotoon. Tähän ohjelman kääntämiseen käytettiin kolmannen osapuolen kehittämää postprosessoria. Postprosessointipalvelu ostettiin eräältä yritykseltä ja heille toimitetaan tarvittavat tiedot käytössä olevasta työstökoneesta ja sen ohjelmoinnista. Postprosessin tilauksen yhteydessä toimitetaan myös käytössä olevat G- ja M-koodit sekä mahdollinen esimerkkiohjelma. Kun postprosessi valmistui, niin se otettiin testikäyttöön. Testiajo tulee aina suorittaa varovasti, sillä ohjelmassa saattaa olla virheitä ja yleensä onkin. Ohjelmoinnissa ilmeni muutamia pieniä virheitä kuten vääriä M-koodeja ja vääriä työkaluvalintoja, mutta ei mitään suurempaa. Virheistä ilmoitettiin postprossessorin valmistajalla, ja he korjasivat nopealla aikataululla postprosessoinnin.

Tavallisten KL-liittimien ohjelmointi sisältää pelkästään kaksi eri porausvaihetta sekä kierteytyksen. Porauksissa ja kierteytyksissä käytettiin työkiertoa, joka mahdollistaa ohjelman lyhentämisen muutamasta sadasta rivistä muutamiin kymmeniin. Porauksen työkierron G-koodi on G81 ja kierteytyksen työkierron G-koodi on G77. Työkierron ohjelmointi toimii siten, että työkierron alussa ilmoitetaan työkierron G-koodi, minkä jälkeen ilmoitetaan muut työkierron tarvitsemat tiedot kuten esimerkiksi porauksen tai kierteytyksen syvyys, käytetyt työstöarvot sekä se, tarvitaanko leikkuunestettä. Kun nämä tiedot on annettu ja työkierto on alkanut, voidaan luetella riveittäin x- ja y-koordinaatteja, joissa työkierto käydään toteuttamassa. Näin ollen tämä helpottaa fyysisesti ohjelman lukua, kun sen voi silmäillä läpi yhdellä vilkaisulla. Ilman työkiertoa jokainen reikä tai kierteytys tulisi ohjelmoida erikseen, mikä pidentäisi nc-ohjelman rivien määrää huomattavasti.

## 7.5 Leukojen ja liittinten koneistus

Työstökoneen ensimmäinen projekti oli koneistaa suunnitellut leuat jokaiselle liittinkoolle. Vielä tässä vaiheessa varmistettiin, että kaikki leuat on suunniteltu siten, että niiden puristuspiste on samassa kohdassa antureihin nähden. Leukojen koneistuksessa käytettävät työkalut olivat 5:n ja 10 mm:n tappijyrsin sekä 50 mm:n vaihtopalajyrsin.

Ensimmäiset KL1x50 -liittimet saatiin koneistettua marraskuun 2017 puolessavälissä. Koneistusaika kolmelle liittimelle oli n. XX sekuntia. Alun perin arvioitu reilu 7 s tahtiaika piti melko hyvin paikkansa. Kuvassa 23 on eräs tuotannossa oleva liitinmalli, joka on koneistettu uudella työstökoneella.



*Kuva 23: KL2x50-liitin sekä Schunkin koneistetut leuat*

## 8 Yhteenveto ja lopputulos

### 8.1 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli olla osa KATKO Oy:llä uuden tuotantosolun käyttöönottoprojektia. Tuotantosolun työvaiheita ovat sahaus, robotisoitu työkappaleen liikutus, jysintä/poraus sekä viimeistely. Insinööriyön tehtäviin kuului Brother-työstökeskukseen pneumaattisen puristusjärjestelmän suunnittelu sekä toteutus. Lisäksi työn aikana suunniteltiin työstökeskuksen paletin suojakotelo sekä robotille tarttuja.

Ennen työstökoneiden saapumista arvioitiin ennalta mahdollisia työstöaikoja materiaa-livirtojen ja mahdollisten pullonkaulojen hahmottamiseksi. Lisäksi ennen varsinaista puristimien suunnittelun aloitusta suunniteltiin etukäteen työstökeskuksen työstöradat sekä käytettävät työkalut, jotta tiedettiin mitä vaatimuksia ne aiheuttavat puristusjärjestelmälle.

Puristimia lähdettiin suunnittelemaan sillä periaatteella, että niiden paikkaa ei tulisi muuttaa ja jokaisella liitinkoolla työstöratojen 0-piste pysyisi samassa paikassa. Koska koneistettavia liitinkokoja on useampia, jouduttiin puristimiin kuitenkin valmistamaan leuat vastaamaan jokaista kokoa. Leuoissa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki eri modifi-kaatiot, joita liittimistä valmistetaan. Liittimissä on mm. erilaisia reikiä ja uria, joita var-ten jouduttiin tekemään erilaisia väisteitä.

Työstökoneen paletin roiskesuoja suunniteltiin aluksi vaatimusten mukaan, minkä jäl-keen sitä lähdettiin yksinkertaistamaan. Projektin jälkeen siitä saatiin ensimmäinen prototyyppi, jonka pohjalta suojakotelosta suunniteltiin ja valmistettiin lopullinen versio.

Robottitarttuja suunniteltiin mahdollisimman kompaktiksi ja sellaiseksi, että sillä voi liikuttaa mahdollisimman optimaalista määrää työkappaleita liikeratojen vähentämisek-si. Projektin jälkeen tultiin siihen tulokseen, että tartuntatyökaluun lisätään vielä neljäs tarttuja.

## 8.2 Lopputulos

Insinööriyön lopputuloksena saatiin suunniteltua ja valmistettua toimiva puristinjärjestelmä, prototyyppi suojakotelosta sekä robotille kehityskelpoinen tarttuja. Lisäksi työstökoneeseen saatiin yhteistyössä tuotannon henkilökunnan kanssa luotua nc-ohjelmat joillekin KL- ja KKL-liittimille.

Työ onnistui suunnitellun mukaisesti ja työstökone päästiin testaamaan ja ottamaan käyttöön niin pian, kun se oli mahdollista. Suuremmilta ongelmilta projektin aikana vältyttiin, lukuun ottamatta pieniä rakenteellisia muutoksia joidenkin liitinmallien leukojen muodoissa.

Kaikin puolin olen itse tyytyväinen projektin lopputulokseen. Haluan kiittää KATKO Oy:tä, joka mahdollisti insinööriyön yrityksessään. Lisäksi haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, joiden kanssa työskentelin projektin aikana, ja niitä yrityksiä, joiden kanssa toimin yhteistyössä.

## Lähteet

- 1 Työstökeskuksen kuva. Verkkajulkaisu.  
[http://www.bromigruppen.se/upload/extrapictures/picture/r650x1\\_open.jpg?timeString=&w=1000&h=&r=1](http://www.bromigruppen.se/upload/extrapictures/picture/r650x1_open.jpg?timeString=&w=1000&h=&r=1). Viitattu 11.9.2017.
- 2 Brother. Verkkajulkaisu. Brother R650 SPEEDIO – Specifications.  
<http://www.brother.com/europe/machine/r650x1/spec/index.htm>. Viitattu 11.9.2017.
- 3 TANDEM KSP plus. Verkkajulkaisu. [https://schunk.com/us\\_en/clamping-technology/series/tandem-ksp-plus/](https://schunk.com/us_en/clamping-technology/series/tandem-ksp-plus/) Viitattu 16.10.2017.
- 4 KATKO Oy. Verkkajulkaisu. <http://www.katko.fi/fi/katko-oy> . 4.11.2017
- 5 Lehtimäki. A. 2017. KATKO Oy laatukäsikirja. Luettu 4.9.2017.
- 7 Salminen, A. 2017. Myyjä. SMC. Suunnittelupalaveri 23.10.2017.
- 8 Schunk. 2017. Stationary Workholding. Saksa. Luettu 16.10.2017.